Die Richtungsverteilung der Röntgenbremsstrahlung bei hohen Spannungen

(Auszug)

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Hohen Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Julius-Maximilians-Universität Würzburg

Vorgelegt von:
Diplom-Physiker
Wolfgang Kiessling
aus Rheydt

Referent: Prof. Dr. H. Kulenkampff

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

Würzburg 1955

Tag der mündl. Prüfung:
14. Dez. 1955

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Einleitung und Problemstellung

Über die Richtungsverteilung der Röntgenbremsstrahlung bei hohen Spannungen liegen bis heute Messungen von Determann (Ann. d. Phys. 30, 481, 1937), Thordarson (Ann. d. Phys. 35, 135, 1939) und Sesemann (Ann. d. Phys. 40, 66, 1941) vor. Da diese Untersuchungen nur an massiven Antikathoden erfolgten, waren die gemessenen Verteilungskurven vor allem durch zwei Störeffekte verfälscht. Beim Eindringen in die Antikathode erleiden die Elektronen durch Zusammenstöße mit den Hüllenelektronen der Atome verschieden große Energieverluste. Gleichzeitig werden sie auch von den Atomkernen und Hüllenelektronen gestreut (Diffusion). Das hat zur Folge, daß im Moment der Ausstrahlung weder die Flugrichtung noch die Geschwindigkeit der Elektronen einheitlich ist.

Beide Störeffekte können bei Verwendung von extrem dünnen Antikathoden weitgehend vermieden werden. Bisher wurden Untersuchungen an dünnen Folien nur bis zu Spannungen von 40 kV durchgeführt. (Kulenkampff [Ann. d. Phys. 87, 597, 1928], Böhm [Ann. d. Phys. 33, 315, 1938], Honerjäger [Ann. d. Phys. 38, 33, 1940] und Kerscher und Kulenkampff [Zeitschr. f. Phys. 140, 632, 1955]).

Ziel der Arbeit ist daher die Untersuchung der Richtungsverteilung der Röntgenbremsstrahlung dünner Folien bei hohen Spannungen bis 200 kV. Durch variierte Filterung der Strahlung wird die Richtungsverteilung für verschieden ausgedehnte Spektralbereiche bestimmt. Das besondere Interesse gilt hierbei der Richtungsverteilung der Strahlung in der Nähe der Grenzfrequenz.

Versuchsanordnung

Die Anode der verwendeten Röntgenrohre war durchbohrt, so daß die Elektronen aus dem Kathoden-Anodenfeld austreten konnten. Nach Verlassen der Hohlanode durchquerten die Elektronen zwei Magnetfelder, in welchen sie jeweils um 60° aus ihrer Flugrichtung abgelenkt wurden. Der Krümmungsradius der Kreisbahnen im Magnetfeld betrug 60 mm. Zwischen den beiden Elektromagneten war die dünne Anti-

kathode senkrecht zur Flugrichtung der Elektronen montiert. Die in der Folie entstehende Röntgenbremsstrahlung konnte durch einen Schlitz im Magnetgehäuse, welcher mit 1 mm Al abgedeckt war, in einem Winkelbereich von —15° bis +90° austreten. Die zweite Ablenkung des Elektronenstrahles, welche entgegengesetzt zur ersten gerichtet war, erfolgte, um auch in Austrittsrichtung der Elektronen aus der Folie die Röntgenbremsstrahlung ungestört messen zu können. Nach Durchlaufen des zweiten Magnetfeldes traf der Elektronenstrahl auf zwei isoliert eingebaute und von außen stark mit Blei abgeschirmte Sonden. Von hier wurde dann der Röhrenstrom über zwei Meßinstrumente zur Erde abgeleitet. Mit Hilfe der beiden Meßinstrumente und einer von außen einschiebbaren Blende an der Folie konnte der Verlauf des Elektronenstrahles jederzeit kontrolliert werden.

Ein einstufiger Kaskadengleichrichter lieferte die erforderliche Hochspannung. Die Welligkeit der Hochspannung war bei einer Belastung von $30 \cdot 10^{-6}$ Ampere vernachlässigbar klein. Die während der Messungen anliegende Hochspannung wurde aus der kurzwelligen Grenze von Spektren ermittelt, welche an einer zweiten Röntgenröhre mit massiver Antikathode unter den gleichen Bedingungen gemessen werden konnten. Die Kathode der Röntgenröhre wurde mit einem 6 Volt Autoakku geheizt. Dieser war zusammen mit dem Heizwiderstand in einem Abschirmtopf aus Al isoliert untergebracht. Durch einen langen Pertinaxstab konnte die Glühfadenheizung über den Heizwiderstand jederzeit, auch unter Hochspannung, nachreguliert werden.

Als Antikathoden dienten bei allen Messungen etwa 1000 Angström starke Al-Folien. Sie wurden durch Aufdampfen von Al auf Trägerhäutchen aus Zelluloid hergestellt. Es genügte die Foliendicke überschlägig abzuschätzen und zwar durch Vergleich ihrer Ausstrahlungsintensität mit derjenigen einer Folie bekannter Dicke. In einer gesonderten Messung wurde der mittlere Streuwinkel der Elektronen (Diffusion) für eine Al-Folie von 1000 Angström ermittelt. Es zeigte sich, daß die Verfälschung der Verteilungskurven durch den mittleren Streuwinkel (0,5°) im Rahmen der Meßgenauigkeit praktisch nicht feststellbar ist. Eine Abschätzung des Geschwindigkeitsverlustes der Elektronen in der Folie unter den vorliegenden Bedingungen ergab ebenfalls keine beobachtbare Verfälschung der Kurven.

Die Messung der von der Folie ausgehenden Röntgenbremsstrahlung im Winkelbereich —15° bis +90° erfolgte mit einem Zählrohr und Zählgerät der Firma Frieseke und Höpfner, Erlangen. Das Zählrohr war mit einer 22 mm starken Bleiabschirmung umgeben, so daß der Nulleffekt relativ klein blieb. Die Meßgenauigkeit war im wesentlichen durch reine Meßfehler begrenzt. Der „gesamte mittlere Fehler" betrug rund 3% und konnte im ungünstigsten Fall bei stärkster Filterung bis zu 6% betragen.

Messung der Verteilungskurven

Die azimutale Verteilung der Röntgenbremsstrahlung wurde bei 121, 162, 183 und 204 kV Spannung und verschiedener Filterung (0, 3, 6, 9 und 12 mm Cu) bestimmt. Da die gemessenen Teilchenzahlen nur als relative Intensitäten zu werten waren, wurden die Ordinaten aller Kurven für den Winkel $\vartheta = 90°$ willkürlich gleichgesetzt.

Die Kurven der Richtungsverteilung der Röntgenbremsstrahlung (dipolartige Ausstrahlung mit in Flugrichtung der Elektronen voreilendem Maximum) zeigten übereinstimmend ein Anwachsen der Intensitätsunterschiede mit fortschreitender Filterung. Das Minimum im Azimut 0° wurde mit wachsender Filterung immer stärker ausgebildet. Die Ausfilterung der Grenzfrequenz gelang nur annähernd, da die geringen Intensitäten eine stärkere Filterung als 12 mm Cu nicht zuließen.

Auffallend an den Verteilungskurven war, daß sie sich unabhängig vom Normierungspunkt noch in einem zweiten Punkt schnitten. Die Schnittpunkte brachten die gleiche mittlere Härte und damit die gleiche relative Energieverteilung der zugeordneten Spektren zum Ausdruck. Aus den Intensitätsverhältnissen der normierten Verteilungskurven in den einzelnen Azimuten konnte somit sehr anschaulich die Änderung der mittleren Härte in Abhängigkeit vom Ausstrahlungswinkel ersehen werden. Der Verlauf dieser Kurven zeigte, daß links und rechts vom Winkel des Härtemaximums, welcher immer größer als der Winkel des Ausstrahlungsmaximums ist, Spektren gleicher relativer Energieverteilung existieren.

Wie erwartet, wurde bei konstanter Spannung mit zunehmender Filterung ein Wandern des Intensitätsmaximums zu größeren Winkeln beobachtet. Dies ist auch in Übereinstimmung mit der Theorie von Sommerfeld (Ann. d. Phys. 11, 257, 1931), wonach die spektralen Verteilungskurven mit abnehmender Wellenlänge schlanker werden und das Ausstrahlungsmaximum nach größeren Winkeln wandert. Die Grenzwerte der Winkel der Maxima stimmten bei den stärksten Filterungen mit den von Sommerfeld für D (Depolarisationsverhältnis) = 0 angegebenen gut überein. Die noch vorhandenen Abweichungen sind auf die unzureichende Monochromasie der Strahlung stärkster Filterung und auf das von Null verschiedene Z (Z=Ordnungszahl des Antikathodenmaterials) zurückzuführen.

Die Annahme Scherzers (Ann. d. Phys. 13, 137, 1932), daß die Intensität der Grenzfrequenz in Richtung 0° gleich Null ist, wurde in Übereinstimmung mit neueren Erkenntnissen (Scheer und Zeitler, Zeitschr. f. Phys. 140, 642, 1955) für von Null verschiedenes Z nicht bestätigt. Dies konnte aus den Intensitätsverhältnissen $J(0°) / J(\vartheta_{Max})$

für die verschiedenen Filterstärken entnommen werden. Der Abfall der Intensitätsverhältnisse mit der Zahl der Halbwertsschichten, entsprechend den einzelnen Filterstärken, zeigte, daß das Verhältnis für die Strahlung der Grenzfrequenz in ein konstantes, filterunabhängiges und von Null verschiedenes übergeht.

Gegenüber den Messungen S e s e m a n n s , welche im gleichen Spannungsbereich an massiver Antikathode ausgeführt wurden, waren erheblich kleinere Intensitätsverhältnisse $J\ (0°) / J\ (\vartheta_{Max})$ beobachtet worden. Die Annahme S e s e m a n n s , daß sich nach Ausschaltung von Diffusion und Geschwindigkeitsverlust Verteilungskurven der Grenzfrequenz mit $J\ (0°) = 0$ ergeben, haben die Messungen widerlegt. Ansonsten hätten die hier gemessenen Verhältnisse $J\ (0°) / J\ (\vartheta_{Max})$ mit zunehmender Filterung praktisch gegen Null gehen müssen.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41543521_0151

Druck: Wilhelm Flören KG., Graphischer Betrieb, Rheydt